УДК 551.482.212

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕКИ ВАСЮГАН И ЕЕ ПРИТОКОВ

О.Г. Савичев, В.А. Базанов*

Томский политехнический университет
E-mail: OSavichev@mail.ru
*НИИ биологии и биофизики при Томском государственном университете

Приведены результаты изучения химического состава донных отложений реки Васюган Томской области и ее притоков. Установлен средний за 1997–2005 гг. уровень содержания нефтепродуктов и более 20-и химических элементов. Выявлены взаимосвязи между концентрациями нефтепродуктов и хлорид-иона в донных отложениях и речных водах. Показано, что донные отложения водотоков в среднем по бассейну реки Васюган характеризуются как умеренно загрязненные и загрязненные.

Введение

Процессы взаимодействия речных вод с донными отложениями играют весьма важную роль в формировании экологического состояния водных объектов, что и определяет необходимость изучения геохимии донных отложений. Особый интерес подобные работы представляют в случае речных систем, испытывающих значительную антропогенную нагрузку, поскольку при этом может происходить как самоочищение вод, так и их вторичное загрязнение. С учетом этого авторами в продолжение и дальнейшее развитие собственных работ и исследований других специалистов [1–3] были выполнены обобщение и анализ имеющейся информации о химическом составе донных отложений реки Васюган Томской области, ее притоков Черталы, Чижапки, Елленкулуньяха, Лонтынь-Яха, Махни и ряда малых рек первого и второго порядков (рис.).

Указанные водотоки объединяет характер антропогенного воздействия на их экосистемы, связанного с добычей и транспортировкой нефти и газа. Следствием этого влияния, по данным [1, 3, 4], стало загрязнение речных вод и донных отложений в бассейне р. Васюган нефтепродуктами. Однако его масштабы и реакция водных экосистем до сих пор изучены недостаточно полно. В частности, в настоящее время ощущается дефицит достоверных данных о фоновых содержаниях химических элементов в донных отложениях региона, механизме самоочищения речных вод и донных отложений, трансформации их химического состава по мере изменения порядка водотоков и т.д.

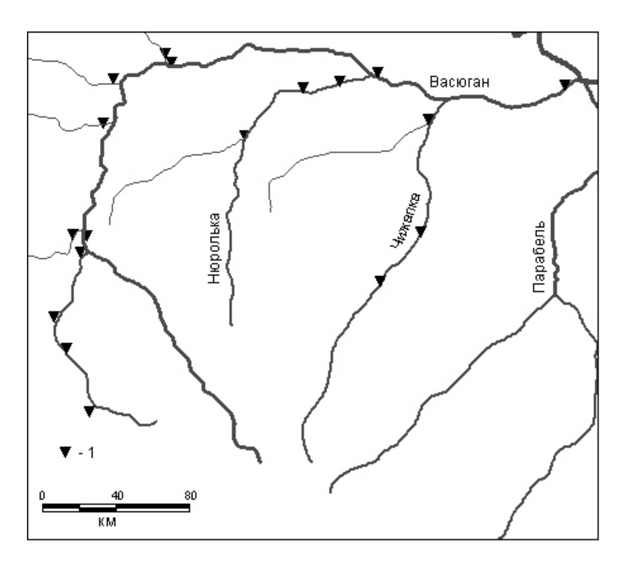


Рисунок. *Схема расположения пунктов опробования ▼ донных отложений реки Васюган и ее притоков в 1997–2005 гг.*

Методика исследований

В процессе выполненных исследований, в соответствии с требованиями [5], были выполнены полевые работы по отбору проб донных отложений и воды, определение их химического состава в аккредитованных лабораториях Томского политехнического университета (ТПУ), ОАО «Томскгеомониторинг», Томской геолого-разведочной экспедиции (микроэлементы – полуколичественный спектраль-

ный анализ, атомно-абсорбционный и инверсионно-вольтамперометрический методы; нефтепродукты – метод инфракрасной спектрофотометрии) и статистический анализ геохимических данных с использованием средств MS Excel. Исходный материал получен при участии авторов в НИИ биологии и биофизики при Томском государственном университете (НИИ ББ), ТПУ, ОАО «Томскгеомониторинг» в 1997–2005 гг. Кроме того, использовались материалы ОАО «Томскгеомониторинг» и Томской геолого-разведочной экспедиции [2], а также сведения химическом составе речных вод региона, полученные в ТПУ, Росгидромете и обобщенные в [3].

Размещение точек опробования проводилось в пределах наиболее типичных для исследуемых рек участков русел с учетом структуры поля загрязнений и особенностей формирования эколого-геохимического состояния водных объектов (как выше, так и ниже по течению от потенциальных и реальных источников загрязнения). Пробы речных вод отбирались из слоя 0,5 м от поверхности. Для пробоотбора использовались специально подготовленные и применяемые только для этих целей емкости. Отбор проб донных отложений для изучения содержаний нефтепродуктов и Cl^- (в водной вытяжке) осуществлялся после отбора речных вод с помощью дночерпателя в точках, приуроченных к пунктам отбора проб речных вод. При этом концентрации нефтепродуктов и Cl^- определялись в обеих средах. В прочих случаях (при изучении содержаний микроэлементов) опробование донных отложений и речных вод проводилось либо автономно друг от друга, либо с определением несовпадающих геохимических показателей.

Результаты исследований и их обсуждение

В донных отложениях изученных рек установлено присутствие более 20-и элементов, максимальные содержания среди которых характерны для Si, Al и Fe. Наиболее высокие концентрации химических элементов в большинстве случаев выявлены в донных отложениях притоков р. Васюган: р. Чертала – Zn, V, Pb, P, Ni, Mn, Cu, Co; р. Еллен-Кулуньях – Ti, Cr; в р. Махня – Sr, Mo; одновременно в двух и более притоках – Li, K, Si. Непосредственно в донных отложениях р. Васюган обнаружены максимальные (для рассмотренных рек) содержания Ca, Ba, Ag. Наиболее высокие концентрации Mg, Al, Fe, Na отмечены в отложениях и реки Васюган, и ее притоков (табл. 1).

Уровень содержания химических элементов в донных отложениях в бассейне р. Васюган в основном не выходит за пределы, установленные для рек мира, и сопоставим с фоновыми концентрациями, полученными для рек Центрального Казахстана (р. Нура), Московской области (рр. Москва и Пахра), Мордовии (р. Инсар) [6–8]. Наиболее заметное исключение составляют Si, среднее содержание которого заметно превышает показатели для других рек (табл. 2).

В сравнении с почвами и почвообразующими породами Западной Сибири [9] в донных отложениях р. Васюган и ее притоков отмечены более вы-

Таблица 1. *Средний химический состав донных отложений реки Васюган и ее притоков, мг/кг*

Показатель	р. Васюган		р. Чертала		р. Чижапка		р. Елленкулуньях		р. Лонтынь-Ях		р. Махня		Малые реки[1]	
	A	N	A	N	A	N	A	N	A	N	A	N	A	N
Fe	30000	1	30000	1	20000	1	15000	1	10000	1	20000	1	–	–
Mn	500	6	700	5	65	5	300	1	100	1	300	1	–	–
Ti	5167	6	4800	5	4000	1	6000	1	4000	1	3000	1	–	–
Cr	113	6	108	5	200	1	400	1	200	1	150	1	–	–
Cu	28	6	31	5	5	5	20	1	20	1	10	1	6	3
Pb	20	6	21	5	5	5	10	1	8	1	20	1	2	3
Zn	67	6	74	5	16	5	40	1	30	1	40	1	16	3
Ni	36	6	40	5	30	1	15	1	10	1	20	1	37	3
Co	16	6	19	5	10	1	4	1	6	1	6	1	–	–
Al	60000	1	60000	1	40000	1	40000	1	40000	1	60000	1	–	–
Mg	6000	1	6000	1	4000	1	2000	1	1000	1	2000	1	–	–
Ag	0,65	5	0,35	5	0,03	1	0,04	1	0,04	1	0,04	1	–	–
Mo	1,0	1	1,0	1	1,0	1	1,5	1	1,0	1	2,0	1	–	–
V	85	6	96	5	60	1	50	1	50	1	50	1	–	–
Sr	283	6	220	5	300	1	300	1	300	1	400	1	–	–
Li	20	1	30	1	30	1	30	1	30	1	20	1	–	–
Si	350000	1	350000	1	350000	1	400000	1	400000	1	350000	1	–	–
P	1067	3	1567	3	600	1	800	1	800	1	800	1	–	–
K	10000	1	15000	1	15000	1	15000	1	15000	1	10000	1	–	–
Ca	15000	1	10000	1	10000	1	4000	1	3000	1	6000	1	–	–
Na	10000	1	10000	1	10000	1	10000	1	10000	1	8000	1	–	–
Ba	683	6	540	5	600	1	600	1	500	1	600	1	–	–
Cl^- [2]	25,5	1	–	–	30,6	2	–	–	–	–	20,4	1	19,7	4
Нефтепродукты	69,7	5	–	–	42,1	4	–	–	–	–	231,8	1	117,4	4

[1] *Малые реки 1-го и 2-го порядков (по П.А. Ржаницыну)*

[2] *Содержания хлорид-иона определены в водной вытяжке*

Таблица 2. *Обобщенная геохимическая характеристика донных отложений, почв и почвообразующих пород (мг/кг) и речных вод (мг/дм³) в бассейне реки Васюган и на прилегающих территориях*

Компонент	Среднее для р. Васюган и ее притоков	Диапазон изменения для рек мира [6–8]	Почвы и почвообразующие породы Сибири [9]		Почвы севера Томской области [10]	Речные воды [1] [3]
			Почвы	Породы		
Si	366 667	2,6...220 000	–	–	–	4320
Al	50 000	1,0...94 000	–	–	–	169,1
Fe	20 833	810...68 177	25 104	26 244	–	705
K	13 333	2 375...24 300	–	–	–	630
Na	9 667	1 603...10 000	–	–	–	4270
Ca	8 000	358...78 000	–	–	–	23 100
Ti [2]	4 800	1 900...5 600	3 352	3 293	3 400	–
Mg	3 500	10 000...15 300	–	–	–	5 700
P	1 090	40...10 000	679	416	631	72
Ba [2]	607	93...2 300	541	512	512	41,5
Mn	442	106...8 320	797	442	748	59,8
Sr [2]	273	31...630	209	325	250	241
Cr	145	5...1 780	84	79	445	1,4
V [2]	80	35...210	87	85	47	–
Zn	49	4,0...24 800	73	62	47	20,4
Ni	33	7,6...1 500	42	42	42	0,9
Li [2]	27	23...35	–	–	23	8,1
Cl^{-} [3]	23,2	–	–	–	–	3100
Cu	21	1,0...1 020	31	30	26	3,8
Pb [2]	14	17...32	18	16	15	1,9
Co	14	1,3...40	13	11	11	0,3
Mo	1,3	0,2...120	4,3	4,5	3	–
Ag [2]	0,37	0,02...154	–	–	–	0,5
Нефтепродукты	87,0	–	–	–	–	544

[1] Приведены средние концентрации Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, Si, Fe, P, нефтепродуктов в водах р. Васюган; в прочих случаях – средние концентрации для равнинных притоков р. Обь таежной зоны в целом

[2] Данные [6] дополнены сведениями [7, 8]

[3] В водной вытяжке донных отложений

сокие содержания Ti, Cr, P, Ba и менее значительные – Zn, Cu, Pb, Fe, Mn, V, Ni, Mo; концентрации Sr и Co примерно равны. Близкие результаты получены при сравнении средних содержаний химических элементов в донных отложениях рассматриваемых рек и почвах северной части Томской области [10], показавшем, что для донных отложениях рек характерны более высокие концентрации не только Ti, P, Ba, но и Sr, V, Zn, Li, Co. Наименьшие концентрации Cu, Pb, Mn, Ni и Mo, как по данным для всей Западной Сибири, так и непосредственно по рассматриваемой территории, характерны для донных отложений рек (табл. 2).

Более сложная картина получена при сопоставлении содержаний химических элементов в донных отложениях рассматриваемой территории с материалами по химическому составу торфов южно-таежной подзоны Западной Сибири, представленными в работах [11–13]. Концентрации многих элементов в донных отложениях рек меньше соответствующих показателей для верховых торфов и больше (или примерно равны) – для низинных торфов. Учитывая, что в речных долинах и на прилегающих к ним территориях расположены преимущественно низинные и переходные болота с преобладанием соответствующих типов торфов, можно предположить, что, по крайней мере, одним из источником поступления изученных элементов в донные отложения в бассейне р. Васюган являются частицы торфа и почв, вынесенные в реки с поверхностным и подповерхностным стоком с болот и заболоченных территорий.

Особое внимание в процессе исследований было уделено изучению нефтепродуктов как загрязняющего вещества, характерного для рассматриваемой территории. Наиболее высокие содержания нефтепродуктов также были отмечены для донных отложений притоков р. Васюган (в среднем 96,6 мг/кг для притоков и 69,7 мкг/кг непосредственно для р. Васюган). При этом полученные нами оценки оказались близки к данным других авторов по р. Васюган за 2000 г. и целому ряду рек Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО) [1, 14]. Согласно [14, 15], концентрации нефтепродуктов в донных отложениях, превышающие 5,5 мг/кг, свидетельствуют о определенной степени загрязнения последних. В то же время, по данным Н.П. Солнцевой, среднее содержание гексановой фракции битуминозных веществ в незагрязненных торфах северной тайги Западной Сибири составляет 40...60 мг/кг, а в супесях той же территории – от 50 до 1000 мг/кг [16]. В загрязненных торфах и

торфяных почвах северо-таежной зоны Западной Сибири нефтяные компоненты обнаруживаются в концентрациях от 200 мг/кг до 504 г/кг, а непосредственно в бассейне р. Васюган – от 837 мг/кг до 125,2 г/кг [13, 16, 17].

С учетом водного выноса частиц почв и торфа и их последующего накопления в донных отложениях, указанная выше граница выделения так называемых «чистых» и загрязненных донных отложений в бассейне р. Обь представляется чрезмерно заниженной. По крайней мере, на основании имеющихся данных целесообразно говорить о наличии сколько-нибудь значимого загрязнения лишь при обнаружении концентраций нефтепродуктов, превышающих их средние значения для торфов и торфяных почв района исследований, то есть более 40...50 мг/кг. В этом случае, если следовать терминологии [14, 15] и принимать во внимание указанные выше геохимические данные, градация «умеренно загрязненных» донных отложений ориентировочно соответствует концентрациям от 40...50 до 200 мг/кг, а градация «загрязненных» – от 200 до 800 мг/кг. «Грязными» и «очень грязными», на взгляд авторов, следует считать донные отложения, в которых нефтепродукты присутствуют в количестве свыше 800 мг/кг. Исходя из этого, можно охарактеризовать донные отложения реки Васюган и ее притоков в среднем как умеренно загрязненные и загрязненные, что не исключает возможность обнаружения чрезвычайно высоких концентраций нефтепродуктов (в Западной Сибири до 300 г/кг) и соответствующих последствий их воздействия на гидробионтов на участках аварийных разливов нефти [4, 14, 16].

Аналогичный подход к оценке загрязнения можно применить и к рассмотренным выше химическим элементам, что, с учетом нижней границы диапазона изменений их концентраций в донных отложениях рек мира и почах региона, позволяет сделать вывод об отсутствии явно выраженного антропогенного влияния на уровень содержания Cu, Pb, Mn, Ni, Mo, Zn, Sc, La, V, Sr. В прочих случаях причиной более высокого, по сравнению с почвами и почвообразующими породами, содержания элементов в донных отложениях региона могут являться как антропогенные факторы, так и протекающие в водных объектах природные процессы, например, сорбция на частицах речных наносов и донных отложений, биоаккумуляция и образование малорастворимых соединений [18]. В качестве подтверждения роли последнего фактора можно привести результаты выполненного О.Г. Савичевым расчета насыщенности болотных и речных вод на территории Двуреченского и Западно-Моисеевского нефтяных месторождений относительно соединений гуминовых кислот с Ca и Mg [17].

Значительный интерес в рамках рассматриваемых исследований представляет сравнение химического состава донных отложений не только с соответствующими показателями почв и горных пород, но и речных вод. По полученным данным, для донных отложений рек региона характерен более высокий уровень содержания большинства изученных элементов.

По данным Д.В. Московченко [14], для рек ХМАО значимая корреляция между содержаниями нефтепродуктов в воде и донных отложениях не обнаружена, что, вероятно, объясняется наличием неучтенных нелинейных связей между этими показателями. Кроме того, можно предположить, что подобная связь будет заметно нарушаться при увеличении водного стока исследуемых рек, поскольку уменьшается относительный вклад взаимодействий между донными отложениями и речными водами в формирование химического состава последних. С учетом этого авторами был проведен регрессионный анализ геохимических данных по средним и малым рекам региона за меженный период, позволивший выявить статистически значимые зависимости для содержаний нефтепродуктов и Cl^- (табл. 3). В случае Cl^- эти связи прямые, а в случае нефтепродуктов – обратные. Достоверное объяснение подобного характера зависимостей, подтверждаемое количественными оценками, в настоящее время отсутствует, что обусловливает актуальность дальнейших эколого-геохимических исследований рек региона с целью разработки математической модели взаимодействий в системе «вода – донные отложения».

Таблица 3. *Взаимосвязи между содержаниями нефтепродуктов и Cl^- в донных отложениях и речных водах бассейна реки Васюган**

Функция Y	Аргумент X	Уравнение регрессии	Квадрат корреляционного отношения R^2
Нефтепродукты			
Содержание в донных отложениях	Содержание в речных водах	$Y=36,121\ X^{-0,5136}$	0,40
		$Y=162,72-205,12\ X$	0,40
		$Y=172,69\ \exp(-2,6538\ X)$	0,35
Содержание в речных водах	Содержание в донных отложениях	$Y=5,4797\ X^{-0,7795}$	0,40
		$Y=0,4583-0,0019\ X$	0,40
		$Y=0,4218\ \exp(-0,0084\ X)$	0,35
Хлорид-ион			
Содержание в донных отложениях	Содержание в речных водах	$Y=13,057\ X^{0,3344}$	0,42
		$Y=17,679-1,0034\ X$	0,20
		$Y=17,076\ \exp(0,0439\ X)$	0,32
Содержание в речных водах	Содержание в донных отложениях	$Y=0,0999\ X^{1,2635}$	0,42
		$Y=1,5365-0,199\ X$	0,20
		$Y=1,9368\ \exp(0,0404\ X)$	0,32

**В соответствии с [19] зависимость принимается удовлетворительной при $R^2>0,36$*

Заключение

Установлен средний уровень содержания нефтепродуктов и более 20-и химических элементов в донных отложениях реки Васюган Томской области и ее притоков разного порядка. Сопоставление полученных данных с соответствующими показателями почв и почвообразующих пород рассматриваемой территории позволило охарактеризовать донные отложения изученных водотоков в среднем как умеренно загрязненные и загрязненные. В сравнении с речными водами в донных отложениях отмечаются, как правило, более высокие содержания микроэлементов. Связи между концентрациями веществ в обеих средах в общем случае являются нелинейными (чаще всего степенными).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев Д.С., Попков В.К. Нефтепродукты в воде и донных отложениях бассейна реки Васюган // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 4. – С. 48–50.
2. Эколого-геохимические исследования на территории Каргасокского района Томской области. Отчет о НИР по договору № 2-гр/97 / Под ред. В.А. Льготина. – Томск: ТЦ «Томскгеомониторинг», 1998. – 69 с.
3. Савичев О.Г. Реки Томской области: состояние, использование и охрана. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2003. – 202 с.
4. Рузанова А.И., Воробьев Д.С. Трансформация донных сообществ в условиях нефтяного загрязнения // Экология пойм сибирских рек и Арктики / Под ред. В.В. Зуева. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. – С. 71–78.
5. РД 52.24.309-92. Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши на сети Роскомгидромета. – СПб.: Роскомгидромет, 1992. – 67 с.
6. Никаноров А.М., Жулидов А.В. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 312 с.
7. Янин Е.П. Русловые отложения равнинных рек (геохимические особенности условий формирования и состава). – М.: ИМГРЭ, 2002. – 139 с.
8. Янин Е.П. Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек (состав, особенности, методы оценки). – М.: ИМГРЭ, 2002. – 52 с.
9. Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. – Новосибирск, 2004. – 32 с.
10. Рихванов Л.П., Язиков Е.Г., Грязнов С.А. и др. Предварительная оценка уровней накопления тяжелых металлов в почвах бассейна р. Обь // Природокомплекс Томской области. В 2-х т. – Т. 1. Геология и экология / Под ред. А.И. Гончаренко. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1995. – С. 249–259.
11. Бернатонис В.К., Архипов В.С., Здвижков М.А. и др. Геохимия растений и торфов Большого Васюганского болота // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития / Под ред. М.В. Кабанова. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН. – С. 204–215.
12. Езупенок Е.Э. Содержание химических элементов в торфах и торфяных почвах южно-таежной подзоны Западной Сибири: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Томск, 2005. – 20 с.
13. Березин А.Е., Базанов В.А., Волостнов Д.В., Шинкаренко В.П. Влияние старых шламовых амбаров на экологическую ситуацию вмещающих территорий // Охрана природы / Под ред. А.Е. Березина. – Томск: Изд-во НТЛ, 2002. – С. 21–43.
14. Московченко Д.В. Нефтепродукты в донных отложениях водных источников Ханты-Мансийского автономного округа // Водные ресурсы. – 2005. – Т. 32. – № 1. – С. 85–89.
15. Брусынина И.Н., Смирнов Ю.Г., Добринская Л.А., Уварова В.И. К изучению нефтяного загрязнения уральских притоков Нижней Оби // Изучение экологии водных организмов Восточного Урала. – Свердловск: УрО РАН, 1992. – С. 3–12.
16. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 376 с.
17. Базанов В.А., Савичев О.Г., Волостнов Д.В и др. Влияние шламовых амбаров на геохимическое состояние болотных экосистем в бассейне реки Васюган // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 2. – С. 72–75.
18. Веницианов Е.В. Физико-химические процессы в поверхностных водах // Водные проблемы на рубеже веков / Под ред. М.Г. Хубларяна. – М.: Наука, 1999. – С. 241–255.
19. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления водохозяйственными системами. – М.: Наука, 1982. – 271 с.